

ひび割れを有するシールド工事用セグメントの初期劣化進展とその考察 (1)

— 中性化に対する性能 —

金沢工業大学(現,日特建設) ○学生員 水上 優
金沢工業大学 上野 洋介
金沢工業大学 正会員 木村 定雄

1. はじめに

現在、シールドトンネルの建設では用途に応じて二次覆工を省略する傾向がある．このため、二次覆工を省略する場合には、それが担ってきた機能を一次覆工であるセグメントが補う必要がある．一方、トンネルの用途に応じてその内環境から定まる覆工の主劣化要因は異なる．そこで、筆者らは事前調査に基づいて抽出されたトンネルの主劣化要因のうち中性化を対象として、曲げひび割れなどの未貫通なひび割れを有する鉄筋コンクリート製セグメントの性能を評価するための実験を行った．本報告は、初期の中性化の進展と鉄筋腐食との関係を把握するとともに、それらが曲げ性能に与える影響について述べたものである．

2. 實驗概要

(1) **セグメントのモデル化**：セグメントの配合は過去の実績の調査結果から選定し、モルタルにモデル化した。表 1 はその配合を示したものである。図 1 は曲げ試験用供試体の諸元を示したものである。初期ひび割れは 3 点曲げ載荷で導入し、その開口幅が大別して 0.1

表1 示方配合とフレッシュ性状

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)			フロー値 (mm)	空気量 (%)
		W	C	S		
40	2.5	239	597	1493	119±3	3.6±0.3

注)普通ポルトランドセメント

陸砂(新潟県南魚沼郡六日町産)

100 曲げ試験: 載荷位置

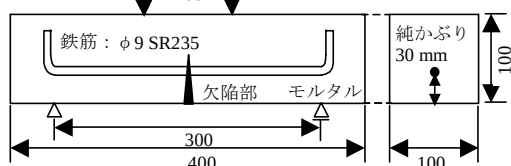


図1 曲げ試験用供試体

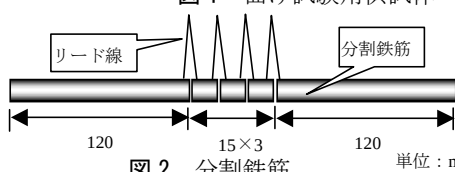


図2 分割鉄筋

表3 鉄筋腐食の照査指標

測定項目	照査指標
腐食電流の測定	腐食速度
鉄筋腐食減量の測定	腐食減量
中性化深さの測定	中性化深さ

表 4 強度特性の照査指標

試験名	照査指標
圧縮試験	圧縮強度、静弾性係数
曲げ試験	曲げ耐力、曲げ剛性

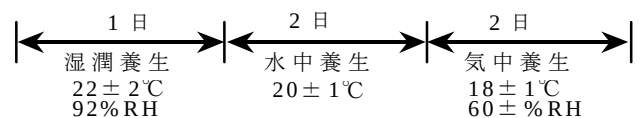
～0.2mm および 0.2～0.4mm となるようにした。なお、比較のためにひび割れを導入しない供試体もあわせて作製した。また、鉄筋の腐食速度を直接的に把握するために図 2 に示す分割鉄筋¹⁾を埋設した供試体を作製した。この供試体には、分割鉄筋がひび割れ導入時の曲げにより破壊することを防ぐため、全面をエポキシ系樹脂で被膜した補強鉄筋もあわせて埋設した。ひび割れ開口面からのみ中性化を促進させるため、ひび割れ開口面以外の 5 面にエポキシ系樹脂を塗布した。

(2) **養生条件**：実際のセグメントの製造方法を考慮して定めた打設後から促進養生までの初期時の養生の条件および促進養生条件をそれぞれ図 3 および表 2 に示す．また，比較のために気中養生は基本条件として設けたものである．

(3) 試験方法と照査指標：鉄筋腐食の照査指標および強度特性の照査指標をそれぞれ表 3 および表 4 に示す。中性化深さの測定はフェノールフタレイン法を用いた。

3. 実験結果およびその考察

(1) 初期（材齢 30 日，1.5cycle）の中性化による鉄筋腐食：図 4 より，促進中性化の条件では，ひび割れの



注) 5 日目にひび割れ導入

図3 初期養生条件

促進中性化+乾湿繰返し養生	乾燥状態：30℃，60%RH，CO ₂ 濃度5%，4day 湿潤状態：30℃，95%RH，10day
乾湿繰返し養生	乾燥状態：20℃，60%RH，4day 湿潤状態：30℃，95%RH，10day
気中養生	20℃，60%RH

注)乾燥状態と湿润状态を合わせ1cycleとする.

キーワード：シールドトンネル，セグメント，ひび割れ，中性化，長期性能

連絡先：〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

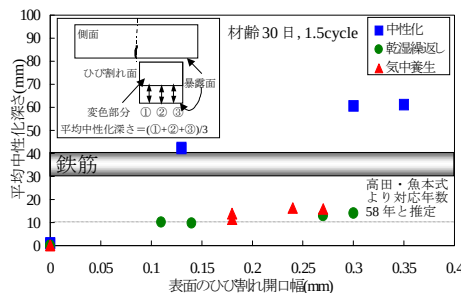


図4 平均中性化深さ測定の結果

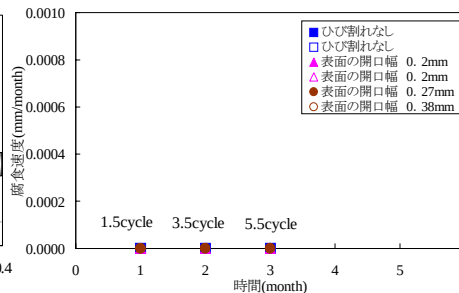


図5 腐食速度の経時変化

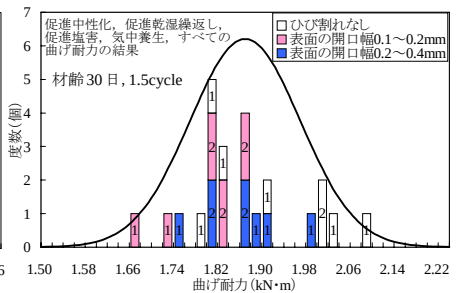


図6 曲げ耐力の密度分布

表5 強度特性（材齢30日）

照査指標	データ数	平均値	偏差 ^{注1)}	変動係数 ^{注2)}
圧縮強度 [N/mm ²]	14	61.4	5.93	9.66%
静弾性係数 [N/mm ²]	11	2.55×10 ⁴	0.15×10 ⁴	5.78%
曲げ耐力[kN·m]	24	1.87	0.10	5.35%

注1) 偏差は不偏分散の平方根とする。

注2) 変動係数は(偏差/平均値)×100とする。

ない部位で中性化が認められなかった。一方、ひび割れ（表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm）を有すると、中性化深さが鉄筋位置を超えた。しかし、初期に導入したひび割れの深さまでは達していなかった。また、鉄筋軸方向への中性化はひび割れのない表面と同様に認められなかった。気中養生（環境条件：20℃、60%RH、CO₂濃度 0.1%）および乾湿繰返し養生のうち、ひび割れ（表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm）を有する場合、中性化深さが約 10mm に達していた。そこでひび割れのない部位との比較のために、コンクリートにおける中性化速度予測式のうち、高田・魚本式²⁾を用いてひび割れのない部位で中性化深さが約 10mm に達する期間を算定すると、それは 58 年となった。この算定値はコンクリートの場合であることから、モルタルの場合にはさらに中性化速度が遅くなると推定することになる。この結果から、幅が 0.1mm 以上のひび割れを有することにより、その内面での中性化は早期に進行することが確認できた。また、促進中性化養生の表面のひび割れ開口幅 0.1～0.2mm と 0.2mm～0.4mm とを比較すると、約 20mm の差が出ている。これは、ひび割れの大きさが中性化速度に影響を及ぼすことを示唆している。

一方、図 5 は腐食電流の測定結果を示したものである。ひび割れを有する供試体の中性化深さが鉄筋のかぶり位置を超えていたにも関わらず、鉄筋に腐食は認められなかった。

以上のことから、ひび割れ（表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm）を有する場合、一般的な中性化速度予測式は適用できない。本来、鉄筋が腐食することで剥離、剥落および曲げ性能の低下が起きる。したがって、鉄筋腐食を直接的に把握して、それらの性能を評価することが重要であると考えられる。

(2) 初期（材齢 30 日、1.5cycle）の曲げ性能：曲げ耐力に影響を与える要因は、モルタルの圧縮強度と静弾性係数、ひび割れ導入および鉄筋の降伏点と引張強さ

の影響が挙げられる。一般的に、モルタルは中性化により細孔構造が緻密になり圧縮強度は増加するとされている³⁾。しかし、表 5 に示すように、圧縮強度と静弾性係数は中性化の影響をほとんど受けていないものと考えられる。また、図 6 をみると、初期のひび割れの大きさにかかわらず、その導入による曲げ耐力への影響は小さいものと判断される。なお、初期のひび割れ（表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm）を導入した時の鉄筋ひずみは 200μ～1000μ であり、初期の鉄筋の性能としては降伏していないことを確認している。

以上のことから、曲げ性能の指標となる曲げ耐力に初期の中性化による影響はないと判断される。

4. まとめ

幅が 0.1mm 以上のひび割れを有する場合、その内面への中性化の進行は相当に早く、欠陥部においては一般的な中性化速度予測式は適用できない。一方、鉄筋のかぶり位置まで中性化が進行しても、不動態皮膜の存在により、すぐには鉄筋は腐食しない。このことから、長期的な耐久性能の照査指標は中性化ではなく、鉄筋腐食を直接的に把握することが望ましい。今後は、鉄筋腐食と曲げ性能の各々の照査指標を密度関数を用いて整理することにより、その照査指標ごとの信頼性領域を明確にする予定である。

参考文献

- 宮里他：分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・理論的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，2001。
- 魚本他：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451，V-17，1992.8。
- 伊代田他：コンクリートのひび割れが中性化速度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，1998。